

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-303536

(43)Date of publication of application : 18.10.2002

(51)Int.Cl.

G01D 5/18

G01B 7/30

(21)Application number : 2001-104377

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 03.04.2001

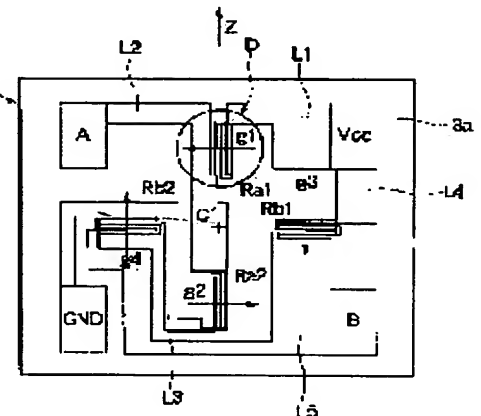
(72)Inventor : TOKUNAGA ICHIRO  
KIKUCHI SEIJI

## (54) ROTATION ANGLE DETECTING SENSOR

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a rotation angle detecting sensor with excellent sensitivity, requiring small exclusive space and with large variation of the output of voltage from the sensor.

**SOLUTION:** Pairs of GMR elements Ra1 and Ra2, and Rb1 and Rb2 are located opposite to each other with the line of the rotation axis  $z$  of a magnet in-between in such a way that the directions of magnetization of pinned magnetic layers of the GMR elements Ra1 and Ra2, and Rb1 and Rb2 are opposite to each other. The rotation angel of the rotation axis is detected by the variation of values of the resistance of the GMR elements Ra1, Ra2, Rb1 and Rb2 generated in the angels between the directions of magnetization  $g1, g2, g3$  and  $g4$  of the pinned magnetic layers and the direction of magnetization of free magnetic layers corresponding to the direction of the magnetic field  $H_{ex}$  of the magnet.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.05.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-303536  
(P2002-303536A)

(43)公開日 平成14年10月18日(2002.10.18)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 D 5/18		G 0 1 D 5/18	N 2 F 0 6 3
G 0 1 B 7/30	1 0 1	G 0 1 B 7/30	1 0 1 B 2 F 0 7 7

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2001-104377(P2001-104377)

(22)出願日 平成13年4月3日(2001.4.3)

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72)発明者 徳永 一郎

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72)発明者 菊池 誠二

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

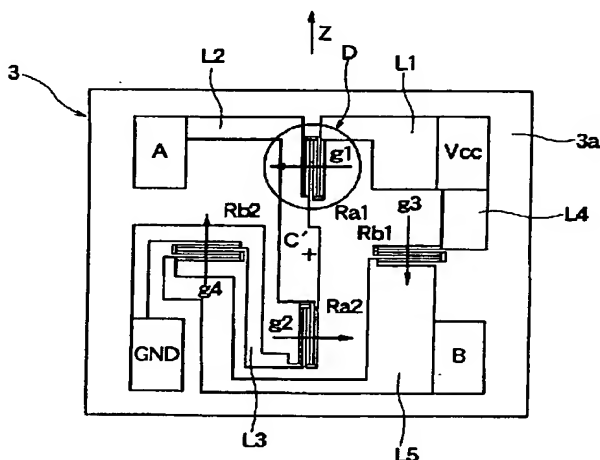
Fターム(参考) 2F063 AA35 AA36 BA08 CA08 CA40  
DA01 DA05 DD05 EA03 GA52  
GA67 LA11 LA23 LA27  
2F077 CC02 JJ01 JJ10 JJ23 VV01

(54)【発明の名称】 回転角検出センサ

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 専有するスペースが小さく、センサ出力電圧の出力変化が大きくセンサ感度の良い回転角検出センサを提供する。

【解決手段】 対となるGMR素子R a 1, R a 2, R b 1, R b 2を磁石の回転軸の回転軸線を挟んで対向する位置となるように配置すると共にGMR素子R a 1, R a 2, R b 1, R b 2のピン止め磁性層の磁化の向きが互いに逆向きであるようにし、磁石の磁界H e xの向きに従うフリー磁性層の磁化の向きとピン止め磁性層の磁化の向きg 1, g 2, g 3, g 4のなす角度により発生するGMR素子R a 1, R a 2, R b 1, R b 2の抵抗値の変化によって回転軸の回転角度を検出するようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 フリー磁性層とピン止め磁性層とを有する GMR 素子を基板上に少なくとも 2 対設け、各対の前記 GMR 素子同士を直列に接続し、前記 GMR 素子と対向させて回転可能に磁石を配設し、この磁石によって前記 GMR 素子に飽和磁界を印加させ、前記 GMR 素子面と平行な磁力線の向きが回転するように磁界を発生させ、各対となる前記 GMR 素子を前記磁石の回転軸の回転軸線を挟んで対向する位置となるように配置すると共に前記 GMR 素子の前記ピン止め磁性層の磁化の向きが互いに逆向きであるようにし、前記磁石の磁力線の向きに従う前記フリー磁性層の磁化の向きと前記ピン止め磁性層の磁化の向きのなす角度により発生する前記 GMR 素子の抵抗値の変化によって回転軸の回転角度を検出するようにしたことを特徴とする回転角検出センサ。

【請求項 2】 前記各対となる前記 GMR 素子を前記回転軸に対して対称な位置に配置したことを特徴とする請求項 1 記載の回転角検出センサ。

【請求項 3】 前記少なくとも 2 対の前記 GMR 素子を前記回転軸に対して同一半径上に位置させたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の回転角検出センサ。

【請求項 4】 前記少なくとも 2 対の前記 GMR 素子の個々の前記 GMR 素子を前記回転軸の回りに  $\pi/2$  (rad) の角度間隔で配置したことを特徴とする請求項 2 記載の回転角検出センサ。

【請求項 5】 隣接する全ての前記 GMR 素子同士の前記ピン止め磁性層の磁化の向きが互いに近づく向きの関係と互いに遠く向きの関係が交互に現れるようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の回転角検出センサ。

【請求項 6】 前記少なくとも 2 対の前記 GMR 素子を同一基板上に形成したことを特徴とする請求項 1 乃至 5 記載の回転角検出センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転角検出センサに関し、例えば自動車のステアリングシャフトに連結されて、ステアリングホイールの回転角度を検出する回転角検出センサに関する。

## 【0002】

【従来の技術】本発明の従来の技術の回転角検出センサを図 17、図 18 に基づいて説明する。図 17 は従来の技術の回転角検出センサの平面図、図 18 は従来の技術の回転角検出センサの正面図である。

【0003】従来の技術の回転角検出センサ 21 は、回転軸 22 に固定され回転中心を通る中性点 m (二点鎖線で示す) を有する様、2 極に着磁された円板状の磁石 23 と、この円板状の磁石 23 の側縁面 23a に対向させて設けられ、回転軸 22 の回転方向に対して位相のずれた位置で磁石 23 の側縁面 23a に対向するように配線板 24 に固定されているホール素子 25、26 により構成

されている。

【0004】磁石 23 は、円板状で中央部に孔 23b を有し、この孔 23b に外部の回転体 (図示せず) の回転を伝える回転軸 22 が嵌入し固定されている。また、磁石 23 の円板は中性点 M が円板の中心を通る様に N 極と S 極の 2 極に着磁が施されている。

【0005】ホール素子 25、26 は 2 個設けられ、2 個のホール素子 25、26 は配線板 24 にはんだ付け等の周知の方法で電気的に接続され、磁石 23 の側縁面 23a に対向し、配線板 24 上で、回転軸 22 の回転軸線 d の回転方向に関して  $\pi/2$  (rad) 位相のずれた位置で固定されている。

【0006】以上の構成による従来技術の回転角検出センサ 21 の回転角検出方法を概略説明する。回転軸 22 が反時計方向へ回転してホール素子 25 に対して円板状の磁石 23 の S 極が最も接近すると、ホール素子 25 の感磁面を横切って入射する磁力線 B が最大になるので、ホール素子 25 の出力は最大値を取り、更に同一方向に回転軸 22 が回転して磁石 23 の N 極がホール素子 25 に最も接近すると、反対方向の磁力線の密度が最大になるのでホール素子の出力は最小値を取る。このようにして、ホール素子 25 の出力は、回転軸 22 を同一方向に回転していくと 1 回転で 1 周期の正弦波となる。ホール素子 26 の出力は、回転軸 22 の回転軸線 d に関して  $\pi/2$  (rad) ずれた位置に配置されているため、ホール素子 25 の出力と  $\pi/2$  (rad) 位相のずれた正弦波の出力を発生する。これら互いに  $\pi/2$  (rad) 位相のずれた 2 つの正弦波を用いて、周知の方法を使って回転角を検出する。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上記した従来技術の回転角センサにおいては、磁石の周囲にホール素子を 2 個取り付け、そのスペースを確保しなければならず、全体として装置が大きくなってしまふと共に、素子の位置精度を正確に割り出す必要がある。また、ホール素子を使っているため出力電圧の変化は一般的に 1 % 程度以下で小さく、センサ感度が悪く、30~50 倍程度の増幅率の大きな増幅器を使用する必要があるという問題があった。

【0008】本発明の目的は、波形精度が良好で、専有するスペースが小さく、センサ出力電圧の出力変化が大きくセンサ感度の良い回転角検出センサを提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の回転角検出センサは、フリー磁性層とピン止め磁性層とを有する GMR 素子を基板上に少なくとも 2 対設け、各対の前記 GMR 素子同士を直列に接続し、前記 GMR 素子と対向させて回転可能に磁石を配設し、この磁石によって前記 GMR 素子に飽和磁界を印加させ、前記 GMR 素子面と平行な

磁力線の向きが回転するように磁界を発生させ、各対となる前記GMR素子を前記磁石の回転軸の回転軸線を挟んで対向する位置となるように配置すると共に前記GMR素子の前記ピン止め磁性層の磁化の向きが互いに逆向きであるようにし、前記磁石の磁力線の向きに従う前記フリー磁性層の磁化の向きと前記ピン止め磁性層の磁化の向きのなす角度により発生する前記GMR素子の抵抗値の変化によって回転軸の回転角度を検出するようにした。この構成により、素子を回転軸線の周りに近接して配置でき、専有するスペースが小さく、GMR素子を使うので、センサ出力電圧の出力変化が大きくセンサ感度の良い回転角検出センサを得ることができる。

【0010】また、本発明の回転角検出センサは、前記各対となる前記GMR素子を前記回転軸に対して対称な位置に配置した。この構成により、より正確に回転角を検出ことができる。

【0011】また、本発明の回転角検出センサは、前記少なくとも2対の前記GMR素子を前記回転軸に対して同一半径上に位置させた。この構成により、4個のGMR素子を回転軸を中心にまとめることができ、回転角検出センサを更に小型化できる。

【0012】また、本発明の回転角検出センサは、前記少なくとも2対の前記GMR素子の個々の前記GMR素子を前記回転軸の回りに $\pi/2$  (rad) の角度間隔で配置した。この構成により、互いに正確に $\pi/2$  (rad) 位相のずれた2つの正弦波を得ることができ、より正確な回転角の検出ができる。

【0013】また、本発明の回転角検出センサは、隣接する全ての前記GMR素子同士の前記ピン止め磁性層の磁化の向きが互いに近づく向きの関係と互いに遠のく向きの関係が交互に現れるようにした。この構成により、4本の棒磁石を互いにN極とS極が反対になるように束ねるだけの簡単な構造の棒磁石ブロックで着磁できるので、着磁のための準備がより簡単になる。

【0014】また、本発明の回転角検出センサは、前記少なくとも2対の前記GMR素子を同一基板上に形成した。この構成により、各GMR素子の膜質が同じになるので、電気的、磁気的特性の揃ったGMR素子を得ることができ、各素子のばらつきによる検出誤差がなくなり、より正確な回転角検出ができる。

#### 【0015】

【発明の実施の形態】本発明の第1実施形態の回転角検出センサを図1～図11を用いて説明する。図1は本発明の第1実施形態の回転角検出センサの平面図、図2は当該回転角検出センサの正面図、図3は当該回転角検出センサのセンサ基板を示す平面図、図4は図3のD部拡大図、図5は図4の5-5断面図、図6は当該回転角検出センサのセンサ基板上のGMR素子の着磁方法を示す図、図7は前記GMR素子へ着磁する時の着磁用棒磁石から出る磁力線の方向を示す図、図8は当該回転角検出

センサのセンサ基板上の回路を示す回路図、図9は前記センサ基板の電極Aの出力を示すグラフ、図10は前記センサ基板の電極A、電極Bの出力を両方示すグラフ、図11は第1の実施形態の回転角検出センサの変形例を示す図、をそれぞれ示している。

【0016】本発明の第1実施形態の回転角検出センサ1は、回転軸4に固定され回転中心を通る中性点M（2点鎖線で示す）を有する様、2極に着磁された円板状の磁石2と、この円板状の磁石2の回転軸4と直交する平面内に、磁石2の回転軸4の端面4aにセンサ基板3が対向して設けられている。

【0017】磁石2は、円板状で中央部に孔2aを有した強磁性体で、この孔2aにスウテアリング等の回転体（図示せず）の回転を伝える回転軸4が嵌入し固定され、回転軸線Cを中心にして回転するようになっている。また、円板状の磁石2の円板は中性点Mが円板の中心Cを通る様にN極とS極の2極に着磁が施されている。磁石2のN極からは磁力線が出て、S極に入り、円板状の磁石2の下面には磁界に伴う磁力線 $H_{ex}$ が発生している。また、磁石2によって、GMR素子Ra1、Ra2、Rb1、Rb2に飽和磁界が加えられている。

【0018】センサ基板3は、シリコン基板3a上に電極Vcc、電極A、電極B、電極GNDとGMR素子Ra1、GMR素子Ra2、GMR素子Rb1、GMR素子Rb2が設けられており、これら電極とGMR素子とをリードL1、リードL2、リードL3、リードL4、リードL5が接続している。図3、8に示すように、電極VccとGMR素子Ra1の一端はリードL1によって接続され、GMR素子Ra1の他端とGMR素子Ra2の一端とはリードL2によって接続され、リードL2はまた、電極Aに接続され、GMR素子Ra2の他端はリードL3により電極GNDに接続されている。即ち、GMR素子Ra1、Ra2は直列に接続され2つのGMR素子Ra1、Ra2の間から電極Aが引き出されている。また、電極VccとGMR素子Rb1の一端はリードL4によって接続され、GMR素子Rb1の他端とGMR素子Rb2の一端とはリードL5によって接続され、リードL5はまた、電極Bに接続され、GMR素子Rb2の他端はリードL3により電極GNDに接続されている。即ち、GMR素子Rb1、Rb2は直列に接続され2つのGMR素子Rb1、Rb2の間から電極Bが引き出されている。また、GMR素子Ra1、Ra2が直列に接続されたものと、GMR素子Rb1、Rb2が直列に接続されたものの両端は、それぞれ電極Vccと電極GNDに接続されている。シリコン基板3a上で、電極A、B、Vcc、GND以外の部分は全体に絶縁コートが施されている。

【0019】各GMR素子Ra1、Ra2、Rb1、Rb2は、それぞれ帯状の小抵抗体r1、r2、r3と折り返し電極e1、e2からなり、図4に示すように、そ

それぞれ帯状の小抵抗部  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  が直列に接続され、折り返し電極  $e_1$ ,  $e_2$  を介して各小抵抗部  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  が互いに平行になるように折り返して配置されている。また、各GMR素子の中心位置は、回転軸4の回転軸線Cがセンサ基板3と交差する点C' に対して略等距離の位置にあり、各GMR素子の帯状の小抵抗部  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  を長手方向に延長すると、ほぼ点C' を通っている。また、各GMR素子はそれぞれ後述するピン止め磁性層とフリー磁性層とを有し、センサ基板3上の点C' に関して点対称に設けられているGMR素子Ra1とGMR素子Ra2ではピン止め磁性層の磁化の向き  $g_1$ ,  $g_2$  が互いに逆向きとなっている。また、同様にGMR素子Rb1とGMR素子Rb2もセンサ基板3上の点C' に関して点対称に設けられ、ピン止め磁性層とフリー磁性層を有し、互いにピン止め磁性層の磁化の向きが逆向きとなっている。また、GMR素子Ra1とGMR素子Ra2それぞれの中心位置を結ぶ線とGMR素子Rb1とGMR素子Rb2それぞれの中心位置を結ぶ線とは直角に交わっている。

【0020】GMR素子Ra1, Ra2, Rb1, Rb2は、図5に示すように、下地層5、反強磁性層7、ピン止め磁性層8、非磁性導電層9、フリー磁性層10、保護層11が順次積層し、両端に電極層6を設けて構成され、反強磁性層7とピン止め磁性層8の交換結合によって、磁化された反強磁性層7の磁化の向きにピン止め磁性層8の磁化の向きが従い、紙面に垂直方向で紙面の裏へ向かう向きに固定されている。フリー磁性層10は強磁性体材料によって形成され、磁化方向は固定されず、磁石2の磁界の磁力線  $H_{ex}$  の向きによって磁化の向きが決められる。この時、磁力線  $H_{ex}$  によって向きの変化したフリー磁性層10の磁化の向きがピン止め層8の磁化の向きと同じになるとGMR素子Ra1, Ra2, Rb1, Rb2の抵抗値は最小になり、フリー磁性層10の磁化の向きがピン止め磁性層8の磁化の向きと反対になると、GMR素子Ra1, Ra2, Rb1, Rb2の抵抗値は最大になる。GMR素子Ra1については、センサ基板3上でピン止め磁性層8の磁化の向きは反強磁性層7の磁化の向きにより、帯状の小抵抗部  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  の長手方向に対して直角方向で図3における  $g_1$  の向きに向いている。他のGMR素子Ra2, Rb1, Rb2のピン止め層もそれぞれ帯状の小抵抗部  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  の長手方向に対して直角方向に磁化方向が固定されている。

【0021】上記したセンサ基板3について、その製造方法を説明する。シリコン基板3a上に下地層としてアルミナ（酸化アルミニウム）層5がスパッタリングにより成膜され、その上に、反強磁性層7としてPtMn（白金マンガン）合金層、ピン止め磁性層8としてCoFe（コバルト鉄）合金層が、非磁性導電層9としてCu（銅）層が、フリー磁性層10としてNiFe（ニッ

ケル鉄）合金層が、保護層11としてTa（タンタル）層が、それぞれ順次スパッタリングにより積層される。この積層膜をフォトリソグラフィによりパターン形成し、4個のGMR素子Ra1, Ra2, Rb1, Rb2の帯状の小抵抗部  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  を形成する。最後に再度スパッタリングにより、電極6としてCr（クロム）層とAu（金）層を積層して成膜し、フォトリソグラフィにより4個のGMR素子Ra1, Ra2, Rb1, Rb2の電極6のパターン形成を行う。次に、各GMR素子Ra1, Ra2, Rb1, Rb2のピン止め磁性層8を固定するために着磁をする。図6に示すように、4本の角柱状棒磁石12a, 12b, 12c, 12dを互いに磁極の極性が反対になるように束ね、棒磁石ブロック12を作成し、この棒磁石ブロック12の下端面をセンサ基板3の表面に近接させる。このとき、棒磁石ブロック12の下端面には、図7に示すように、下端面に表出した4個の磁極N, S, N, Sにより4方向の互いに近接した磁力線  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$  が発生する。GMR素子Ra1, Ra2のそれぞれには、互いに逆向きの磁力線  $H_1$ ,  $H_2$  が発生するよう磁界が印加され、GMR素子Rb1, Rb2には、互いに逆向きの磁力線  $H_1$ ,  $H_2$  が発生するよう磁界が印加される。センサ基板3に棒磁石ブロック12を近接させた状態で保持し、真空中で数時間、高温のアニールを行い着磁を完了する。この着磁工程により、GMR素子Ra1とGMR素子Ra2のピン止め磁性層の磁化の向きは互いに逆向きの  $g_1$ ,  $g_2$  に固定される。また、GMR素子Rb1とGMR素子Rb2のピン止め磁性層の磁化の向きも互いに逆向きの  $g_3$ ,  $g_4$  に固定される。この着磁工程では、4本の棒磁石12a, 12b, 12c, 12dを互いに磁極の極性が反対になるように束ねるだけの簡単な方法で着磁用の棒磁石ブロック12を作成できるので、着磁の準備が簡単になる。尚、上述した各層の材質は上述した材質に限定されるものではない。

【0022】次に、本発明の第1実施形態の回転角検出センサの動作を説明する。ステアリング等の外部の回転体の回転が回転軸4に伝えられ、円板状の磁石2を回転させると円板状の磁石2の下面に発生している磁力線  $H_{ex}$  が回転する。磁力線  $H_{ex}$  はセンサ基板3の表面に平行で均一に存在し、あるいは平行で均一とみなすことができる程度に、基板3に比べて磁石2は十分大きく形成されている。また、磁力線  $H_{ex}$  は各GMR素子Ra1, Ra2, Rb1, Rb2を横切り、それらが飽和するのに十分な磁界を与えている。センサ基板3の電極Vccには5Vの定電圧が印加されていて、電極GNDはアースに接続されている。電極AはGMR素子Ra1, Ra2の接続点での電圧出力をA出力として取り出す電極で、電極BはGMR素子Rb1, Rb2の接続点での電圧出力をB出力として取り出す電極である。尚、A出力及びB出力の後段には、図示を省略するが、2.5V

の電圧が一方の入力端子に接続され、増幅率 12 倍、基準電圧 2.5 V の差動増幅器に接続されている。

【0023】初めに、図 3 において、磁石 2 の磁力線の向き  $H_{ex}$  がセンサ基板 3 の表面上で下方の GMR 素子  $R_{a2}$  から上方の GMR 素子  $R_{a1}$  へ向かう基準の向き  $Z$  (角度 0 rad に相当) と同じである場合を考えると、GMR 素子  $R_{a1}$  のピン止め層 8 の磁化の向き  $g_1$  と磁力線  $H_{ex}$  の向きは直角であるから GMR 素子  $R_{a1}$  の抵抗値は磁力線  $H_{ex}$  による抵抗値変化の最大値と最小値の中間の値となり、GMR 素子  $R_{a2}$  のピン止め磁性層 8 の向き  $g_2$  も磁力線  $H_{ex}$  の向きと直角であるから、やはり GMR 素子  $R_{a2}$  の抵抗値は最大値と最小値の中間の値となる。GMR 素子  $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$  は同一基板上にほぼ同一条件で形成されているものなので、それらの磁気特性はほぼ同じと考えられ、GMR 素子  $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$  の磁界  $H_{ex}$  による抵抗変化も同一であるため、それぞれの最大値、最小値、最大値と最小値の中間の値もほぼ同じである。従って、磁石 2 の磁力線  $H_{ex}$  の向きがセンサ基板 3 上の基準の向き  $Z$  と同じときは、上記したように GMR 素子  $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$  の抵抗値は同じ値となり、従って約 2.5 V の電圧が差動増幅器に入力され、よって差動増幅器の入力端側の電圧差は 0 となり増幅されても 0 であるので基準値の 2.5 V が加わって電極 A の A 出力は 2.5 V となる。次に、磁石 2 の磁力線  $H_{ex}$  が反時計方向に回転角  $\pi/2$  (rad) 回転すると、磁力線  $H_{ex}$  の向きと GMR 素子  $R_{a1}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の向き  $g_1$  は同じ向きになるので、GMR 素子  $R_{a1}$  の抵抗値は小さくなって最小値、即ち、この場合は GMR 素子の抵抗値変化率 5% のものを使用しているので初期の抵抗値の 2.5% 小さい値をとる。GMR 素子  $R_{a2}$  の抵抗値は GMR 素子  $R_{a2}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の向き  $g_2$  と磁力線  $H_{ex}$  が逆向きなので最大値、即ち、この場合に GMR 素子の抵抗値変化率は 5% のものを使用しているので初期の抵抗値より 2.5% 大きい値をとる。従って、約 2.563 V の電圧が差動増幅器に入力され、よって差動増幅器の入力端側の電圧差は 0.063 V となり 12 倍に増幅されて 0.76 V の信号が得られ、基準値の 2.5 V が加わって電極 A の A 出力は最大の 3.26 V となる。次に、磁石 2 の磁力線  $H_{ex}$  が反時計方向に更に  $\pi/2$  (rad) 回転する、即ち基準の向き  $Z$  から反時計方向に回転角  $\pi$  (rad) 回転すると、磁力線  $H_{ex}$  の向きと GMR 素子  $R_{a1}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の向き  $g_1$  および GMR 素子  $R_{a2}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の向き  $g_2$  は直角になるので、磁石 2 の磁力線  $H_{ex}$  と基準の向き  $Z$  が一致したときと同様に、A 出力は約 2.5 V になる。次に、磁石 2 の磁力線  $H_{ex}$  が反時計方向に更に  $\pi/2$  (rad) 回転する、即ち、基準の向き  $Z$  から反時計方向へ  $3\pi/2$  (rad) 回転すると、磁力線  $H_{ex}$  の向きと GMR 素子  $R_{a1}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の

向き  $g_1$  は逆向きになるので、GMR 素子  $R_{a1}$  の抵抗値は大きくなって最大値をとる。GMR 素子  $R_{a2}$  の抵抗値は GMR 素子  $R_{a2}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の向き  $g_2$  と磁力線  $H_{ex}$  が同じ向きなので最小値をとる。従って、電極 A の A 出力は前述と同様に計算して最小値の約 1.74 V になった。次に、更に磁石 2 の磁力線  $H_{ex}$  が反時計方向に  $\pi/2$  (rad) 回転する、即ち、基準の向き  $Z$  から反時計方向へ  $2\pi$  (rad) 回転すると、1 周期が終わり、初めの状態と同じになり、A 出力は約 2.5 V となる。更に磁石 2 の磁力線  $H_{ex}$  を回転すると、電極 A の A 出力は 1 周期目の出力変化を繰り返す。

【0024】B 電極からの B 出力は、GMR 素子  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の向き  $g_3$ 、 $g_4$  が GMR 素子  $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$  のピン止め磁性層 8 の磁化の向き  $g_1$ 、 $g_2$  より  $\pi/2$  (rad) 反時計方向に進んでいるので、A 電極からの A 出力より、 $\pi/2$  (rad) 進んでいる出力電圧となる。磁石 2 の回転角は互いに  $\pi/2$  (rad) ずれた A 出力と B 出力から周知の方法で検出される。以上のように、本発明の第 1 実施形態の回転角検出センサは、素子を回転軸線の周りに近接して配置でき、専有するスペースが小さく、抵抗変化率が 5% 程度である GMR 素子を使うので、センサ出力電圧の出力変化が大きくセンサ感度が良く、増幅率の小さい増幅器を用いることができ、正確な回転角を検出することができる。

【0025】尚、上記第 1 実施形態では 4 個の GMR 素子を同一基板の上に設けた場合を記載し、その場合には 4 つの GMR 素子  $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$ 、 $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  を近接して配置できるので、図 5 で示す各層の膜厚ををほぼ同じにして容易に特性を揃えることが可能であり、回転角検出センサの精度を高めることが容易であるが、本発明は、これに限定されることなく、図 11 に示されているように、4 個の基板  $S_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$ 、 $s_4$  の上にそれぞれ GMR 素子  $j_1$ 、 $j_2$ 、 $j_3$ 、 $j_4$  を搭載し、それぞれの GMR 素子  $j_1$ 、 $j_2$ 、 $j_3$ 、 $j_4$  のピン止め磁性層の磁化の向き  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$  が  $\pi/2$  (rad) ずつ向きがずれる位置に 4 個の基板  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$ 、 $s_4$  を固定してセンサ基板 13 とし、回転角検出センサを構成してもよい。

【0026】次に、本発明の第 2 実施形態の回転角検出センサを図 12 から図 16 を用いて説明する。図 12 は本発明の第 2 実施形態の回転角検出センサのセンサ基板を示す平面図、図 13、14 は前記センサ基板上の GMR 素子とリード部を示す回路図、図 15 は前記 GMR 素子の電極 A- の電圧を基準とした電極 A+ の出力を示すグラフ、図 16 は前記 GMR 素子の電極 A- の電圧を基準にした電極 B+ の電圧である  $\alpha$  出力をおよび電極 B- の電圧を基準にした電極 B+ の電圧である  $\beta$  出力を両方示すグラフ、をそれぞれ示している。第 2 実施形態の説

明中、第1実施形態と同じまたは同様な部分はその名称または番号を引用しその説明を省略し、同様な説明についてはこれを割愛する。

【0027】本発明の第2実施形態の回転角検出センサの構成は、第1実施形態の回転角検出センサとはセンサ基板14が異なるだけであるので、センサ基板14の説明とその動作のみを説明する。

【0028】センサ基板14は、シリコン基板14a上に電極Vcc1、電極Vcc2、電極A+、電極A-、電極B+、電極B-、電極GND1、電極GND2とGMR素子ra1、ra2、ra3、ra4、GMR素子rb1、rb2、rb3、rb4が設けられており、これら電極とGMR素子とをリード部11、12、13、14、15、16、17、17'、18が接続している。GMR素子ra1とGMR素子ra2とはリード部12を介して直列に接続され、電極Vcc1と電極GND1との間にリード部11、14を介して接続され、GMR素子ra3とGMR素子ra4もまたリード部13を介して直列に接続され、電極Vcc1と電極GND1との間にリード部11、14を介して接続されている。即ち、電極Vcc1と電極GND1との間には、GMR素子ra1とGMR素子ra2が直列接続されたものとGMR素子ra3とGMR素子ra4が直列接続されたものとが並列に接続されている。同様に、GMR素子rb1とGMR素子rb2とはリード部16を介して直列に接続され、電極Vcc2と電極GND2との間にリード部15、18を介して接続され、GMR素子rb3とGMR素子rb4もまたリード部17、17'を介して直列に接続され、電極Vcc2と電極GND2との間にリード部15、18を介して接続されている。即ち、電極Vcc2と電極GND2との間には、GMR素子rb1とGMR素子rb2が直列接続されたものとGMR素子rb3とGMR素子rb4が直列接続されたものとが並列に接続されている。シリコン基板14a上で、電極A+、A-、B+、B-、Vcc1、Vcc2、GND1、GND2以外の部分は全体に絶縁コートが施されている。

【0029】各GMR素子は帯状の小抵抗部が折り返して直列に接続され、GMR素子ra1とGMR素子ra3、GMR素子ra2とGMR素子ra4、GMR素子rb1とGMR素子rb3、GMR素子rb2とGMR素子rb4はそれぞれの帯状の小抵抗部が平行になるように隣接して配置され、互いのピン止め磁性層8の磁化の向きは逆向きになっている。各GMR素子の中心位置は、回転軸4の回転軸線Cがセンサ基板14と交差する点C' 'に対して略等距離の位置にあり、各GMR素子の帯状の小抵抗部の長手方向を延長すると、ほぼ点C' 'を通っている。GMR素子ra1、ra2と、GMR素子ra3、ra4と、GMR素子rb1、rb2及び、GMR素子rb3、rb4はそれぞれ互いにセン

サ基板14上の点C' 'に関して略点对称の位置に設けられ、互いにピン止め磁性層8の磁化方向が逆向きとなっている。また、GMR素子ra1とGMR素子ra2それぞれの中心位置を結ぶ線とGMR素子rb1とGMR素子rb2それぞれの中心位置を結ぶ線とは直角に交わっている。更に、GMR素子ra3とGMR素子ra4それぞれの中心位置を結ぶ線とGMR素子rb3とGMR素子rb4それぞれの中心位置を結ぶ線とは直角に交わっている。

【0030】次に、本発明の第2実施形態の回転角検出センサの動作を説明する。外部の回転体の回転が回転軸4に伝えられ、円板状の磁石2を回転させると円板状の磁石2の下面に発生している磁力線Hexの向きが回転する。磁力線Hexはセンサ基板14の表面に平行に存在し、各GMR素子ra1、ra2、ra3、ra4、rb1、rb2、rb3、rb4に磁力線Hexを与えている。電極Vcc1、Vcc2には5Vの定電圧が印加されていて、電極GND1、GND2はアースに接続されている。電極A+はGMR素子ra1、ra2の接続点での電圧出力を取り出す電極で、電極A-はGMR素子ra3、ra4の接続点での電圧出力を取り出す電極であり、電極A+と電極A-間の電圧をここでは図示しないが、増幅率6倍で基準電圧2.5Vの差動増幅器に入力してα出力として取り出し使用する。電極B+はGMR素子rb1、rb2の接続点での電圧出力を取り出す電極で、電極B-はGMR素子rb3、rb4の接続点での電圧出力を取り出す電極であり、電極B+と電極B-間の電圧を、ここでは図示しないが、増幅率6倍で基準電圧2.5Vの差動増幅器に入力してβ出力として取り出し、α出力と共に回転角検出に使用する。尚、差動増幅器を利用しているので、温度変化やノイズによって同じ傾向をもって出力値が変化した場合には、その影響をキャンセルできる。

【0031】図12において、初めに、磁石2の磁力線Hexの向きがセンサ基板14の表面上で下方のGMR素子ra2から上方のGMR素子ra1へ向かう基準の向きZ1（角度0radに相当）と同じである場合を考えると、GMR素子ra1、ra2、ra3、ra4、rb1、rb2、rb3、rb4のフリー磁性層10の磁化の向きは磁力線Hexの向きに従うので、GMR素子ra1のピン止め磁性層8の磁化の向きh1と磁力線Hexの向きが直角である時は、GMR素子ra1の抵抗値は磁力線Hexの向きによる抵抗値変化の最大値と最小値の中間の値となり、GMR素子ra2のピン止め磁性層8の磁化の向きh2は磁力線Hexの向きと直角であるから、やはりGMR素子ra2の抵抗値は最大値と最小値の中間の値となる。GMR素子ra1、ra2は同一基板上にほぼ同一条件で形成されているものなので、それらの磁気特性はほぼ同じと考えられ、GMR素子ra1、ra2の磁力線Hexの向きによる抵抗変化



も同一であるため、それぞれの最大値、最小値、最大値と最小値の中間の値もほぼ同じである。従って、磁石2の磁力線H<sub>ex</sub>の向きが基準の向きZ<sub>1</sub>と同じときは、電極A+での出力電圧は電極V<sub>cc</sub>に印加された電圧5Vの半分の2.5Vとなる。電極A-での出力電圧も同様に2.5Vとなる。従って、電極A-を基準にした電極A+の電圧であるα出力は2.5Vとなる。即ち、差動増幅器の入力端側の電圧差は0Vとなり、増幅されても0Vであり、基準値の2.5Vが出力される。

【0032】次に、磁石2の磁力線H<sub>ex</sub>の向きが基準の向きZ<sub>1</sub>から反時計方向に回転角 $\pi/2$  (rad)回転すると、GMR素子r<sub>a1</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>1</sub>は磁力線H<sub>ex</sub>の向きと逆向きになるので、GMR素子r<sub>a1</sub>の抵抗値は最大値をとり、GMR素子r<sub>a2</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>2</sub>は磁力線H<sub>ex</sub>の向きと同じ向きなのでGMR素子r<sub>a2</sub>の抵抗値は最小値になり、電極A+の出力は下がり最小値を取る。即ち、5%の抵抗変化率のGMR素子を使用して、 $5V \times 0.975 / (1.025 + 0.975) = 2.438V$ の出力となる。また、GMR素子r<sub>a3</sub>のピン止め層の磁化の向きh<sub>3</sub>は磁力線H<sub>ex</sub>と同じ向きになるのでGMR素子r<sub>a3</sub>の抵抗値は最小値になり、GMR素子r<sub>a4</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>4</sub>は磁力線H<sub>ex</sub>の向きと逆向きになるのでGMR素子r<sub>a3</sub>の抵抗値は最大値になり、電極A-の出力電圧は上がり最大値をとる。即ち、 $5V \times 1.025 / (1.025 + 0.975) = 2.563V$ の出力になる。よって、差動増幅器の入力端側の電圧差は $2.563 - 2.438 = 0.125$ となり6倍に増幅されて0.75Vの信号が得られ、基準値の2.5Vが加わってα出力は最大値の3.25Vとなる。

【0033】次に、磁石2の磁力線H<sub>ex</sub>の向きが反時計方向に更に $\pi/2$  (rad)回転する、即ち基準の向きZ<sub>1</sub>から反時計方向に回転角 $\pi$  (rad)回転すると、磁力線H<sub>ex</sub>の向きとGMR素子r<sub>a1</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>1</sub>およびGMR素子r<sub>a2</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>2</sub>は直角になるので、磁石2の磁力線H<sub>ex</sub>と基準の向きZ<sub>1</sub>が一致したときと同様に、電極A+と電極A-の出力電圧は2.5Vになる。従って、α出力も前述と同様に2.5Vになる。

【0034】次に、磁石2の磁力線H<sub>ex</sub>の向きが更に反時計方向に $\pi/2$  (rad)回転する、即ち基準の向きZ<sub>1</sub>から反時計方向へ $3\pi/2$  (rad)回転すると、GMR素子r<sub>a1</sub>のピン止め層の磁化の向きh<sub>1</sub>は、磁力線H<sub>ex</sub>の向きと同じ向きになるので、GMR素子r<sub>a1</sub>の抵抗値は最小値となり、GMR素子r<sub>a2</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>2</sub>と磁力線H<sub>ex</sub>の向きが逆向きになるので、GMR素子r<sub>a2</sub>の抵抗値は最大値をとり、電極A+の出力電圧は上がり2.563Vになる。また、GMR素子r<sub>a3</sub>のピン止め磁性層8の

磁化の向きh<sub>3</sub>は磁力線H<sub>ex</sub>の向きと逆向きになるのでGMR素子r<sub>a3</sub>の抵抗値は最大値になり、GMR素子r<sub>a4</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>4</sub>は磁力線H<sub>ex</sub>の向きと同じ向きになるのでGMR素子r<sub>a4</sub>の抵抗値は最小値になり、電極A-の出力電圧は上がり2.438Vとなる。従って、α出力は最小値をとる。即ち、差動増幅器の入力端子側の電圧差は $2.438V - 2.563V = -0.125V$ となり6倍に増幅されて-0.75Vの信号が得られ、基準値の2.5Vが加わってα出力は最小値の1.75Vとなる。

【0035】次に、磁石2の磁力線H<sub>ex</sub>の向きが反時計方向に更に $\pi/2$  (rad)回転する、即ち基準の向きZ<sub>1</sub>から反時計方向に回転角 $2\pi$  (rad)回転すると、磁力線H<sub>ex</sub>の向きと基準の向きZ<sub>1</sub>が一致するので、磁力線H<sub>ex</sub>の向きの回転の最初の状態と同じになり、電極A+と電極A-の出力電圧は2.5Vになる。従って、α出力は2.5Vになる。これで1周期が終わり、更なる磁力線H<sub>ex</sub>の向きの回転は、1周期目のα出力の出力変化を繰り返す。

【0036】電極B+の出力電圧の変化は、GMR素子r<sub>b1</sub>、r<sub>b2</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きi<sub>1</sub>、i<sub>2</sub>と磁力線H<sub>ex</sub>の向きとの関係がGMR素子r<sub>a1</sub>、r<sub>a2</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>1</sub>、h<sub>2</sub>と磁力線H<sub>ex</sub>の向きとの関係より $\pi/2$  (rad)反時計方向に進んでいるので、電極A+の出力電圧の変化より $\pi/2$  (rad)反時計方向に進んでいる。電極B-の出力電圧の変化も、GMR素子r<sub>b3</sub>、r<sub>b4</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きi<sub>3</sub>、i<sub>4</sub>と磁力線H<sub>ex</sub>の向きとの関係がGMR素子r<sub>a3</sub>、r<sub>a4</sub>のピン止め磁性層8の磁化の向きh<sub>3</sub>、h<sub>4</sub>と磁力線H<sub>ex</sub>の向きとの関係より $\pi/2$  (rad)反時計方向に進んでいるので、電極A-の出力電圧の変化より $\pi/2$  (rad)反時計方向に進んでいる。従って、電極B-を基準にした電極B+の電圧であるβ出力は、電極A-を基準にした電極A+の電圧であるα出力より、 $\pi/2$  (rad)反時計方向に進んでいる。磁石2の回転角は互いに $\pi/2$  (rad)ずれたα出力とβ出力の正弦波の値から周知の方法により検出される。上記したように、α出力とβ出力は、それぞれ出力変化は1.5V (最大値-最小値)であり、半分の増幅率の差動増幅器を使用しているにもかかわらず第1実施形態のA出力とB出力の出力変化 (最大値-最小値) とほぼ同等とすることができ、センサ感度が2倍になる。また、入力オフセット電圧の小さな差動増幅器を用いなくともいいので、安価に作成できる。

【0037】

【発明の効果】上記したように、本発明の回転角検出センサは、フリー磁性層とピン止め磁性層とを有するGMR素子を基板上に少なくとも2対設け、各対のGMR素子同士を直列に接続し、GMR素子と対向させて回転可



13

能に磁石を配設し、この磁石の磁界を基板面方向に発生させ、各対となるGMR素子を磁石の回転軸の回転軸線を挟んで対向する位置となるように配置すると共にGMR素子のピン止め磁性層の磁化の向きが互いに逆向きであるようにし、磁石の磁界の向きに従うフリー磁性層の磁化の向きとピン止め磁性層の磁化の向きのなす角度により発生するGMR素子の抵抗値の変化によって回転軸の回転角度を検出するようにしたので、素子を回転軸の周りに近接して配置でき、所定の位相差を有する電圧を出力し回転角を検出する、専有するスペースが小さく、センサ出力電圧の出力変化が大きくセンサ感度の良い回転角検出センサを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態の回転角検出センサの平面図である。

【図2】本発明の第1実施形態の回転角検出センサの正面図である。

【図3】本発明の第1実施形態の回転角検出センサのセンサ基板を示す平面図である。

【図4】図3のD部拡大図である。

【図5】図4の5-5断面図である。

【図6】本発明の第1実施形態の回転角検出センサのセンサ基板上的GMR素子への着磁方法を示す図である。

【図7】本発明の第1実施形態の回転角検出センサのセンサ基板上的GMR素子へ着磁する時の着磁用棒磁石から出る磁力線の方法を示す図である。

【図8】本発明の第1実施形態の回転角検出センサのセンサ基板上的回路を示す回路図である。

【図9】本発明の第1実施形態の回転角検出センサのセンサ基板の電極Aの出力を示すグラフである。

【図10】本発明の第1実施形態の回転角検出センサのセンサ基板の電極A、電極Bの出力を両方示すグラフである。

14

【図11】本発明の第1実施形態の回転角検出センサの変形例を示す図である。

【図12】本発明の第2実施形態の回転角検出センサのセンサ基板を示す平面図である。

【図13】本発明の第2実施形態の回転角検出センサのセンサ基板上の一組のGMR素子と電極とリード部を示す回路図である。

【図14】本発明の第2実施形態の回転角検出センサのセンサ基板上の他の組のGMR素子と電極とリード部を示す回路図である。

【図15】本発明の電極A-の電圧を基準にした電極A+の電圧である $\alpha$ 出力を示すグラフである。

【図16】本発明の第2実施形態の回転角検出センサのセンサ基板上の電極A-の電圧を基準にした電極A+の電圧である $\alpha$ 出力をおよび電極B-の電圧を基準にした電極B+の電圧である $\beta$ 出力を両方示すグラフである。

【図17】従来技術の回転角検出センサの平面図である。

【図18】従来技術の回転角検出センサの正面図である。

【符号の説明】

1 回転角検出センサ

2 磁石

3 センサ基板

3a シリコン基板

4 回転軸

8 ピン止め磁性層

10 フリー磁性層

12 棒磁石ブロック

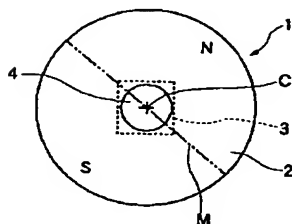
C 回転軸線

Hex 磁力線

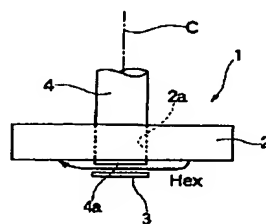
g1, g2, g3, g4 ピン止め磁性層の磁化の向き

Ra1, Ra2, Rb1, Rb2 GMR素子

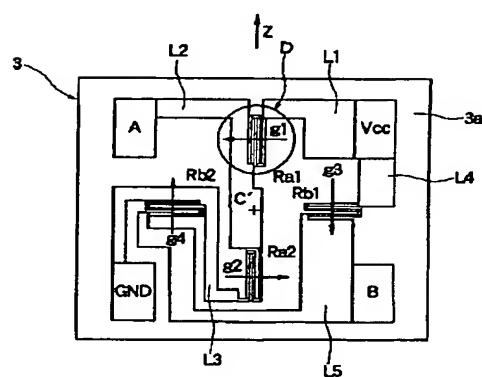
【図1】



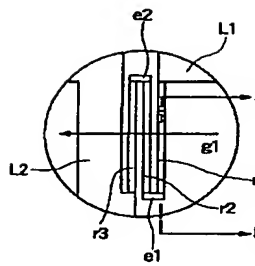
【図2】



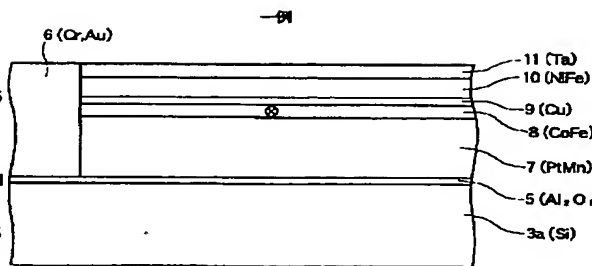
【図3】



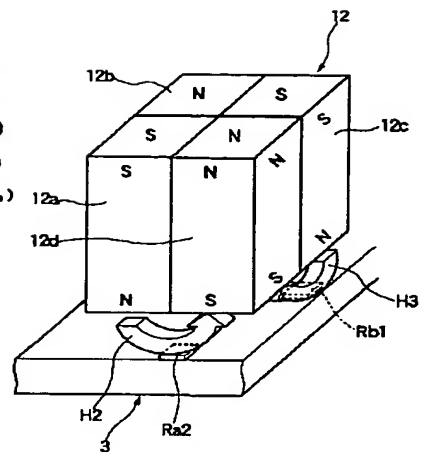
【図 4】



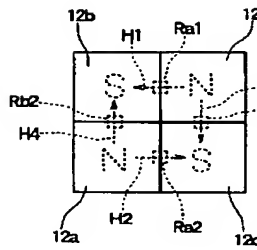
【図 5】



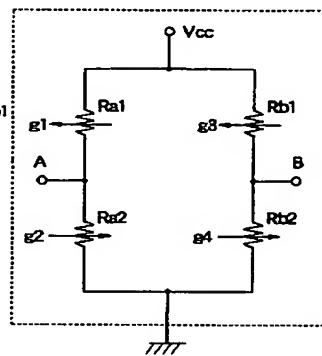
【図 6】



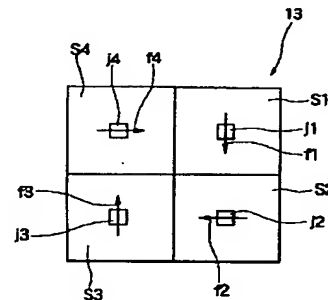
【図 7】



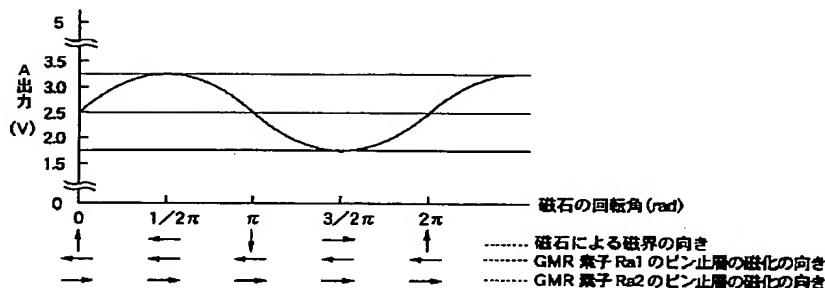
【図 8】



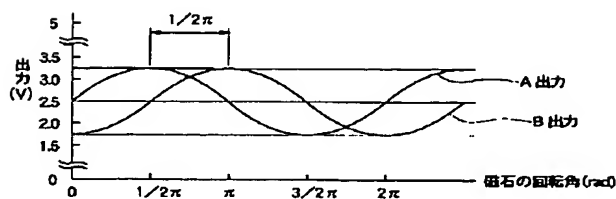
【図 11】



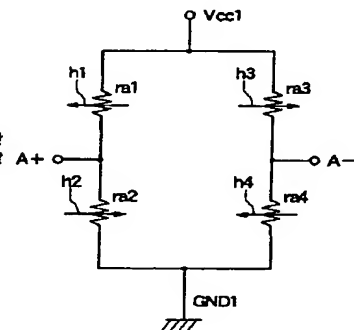
【図 9】



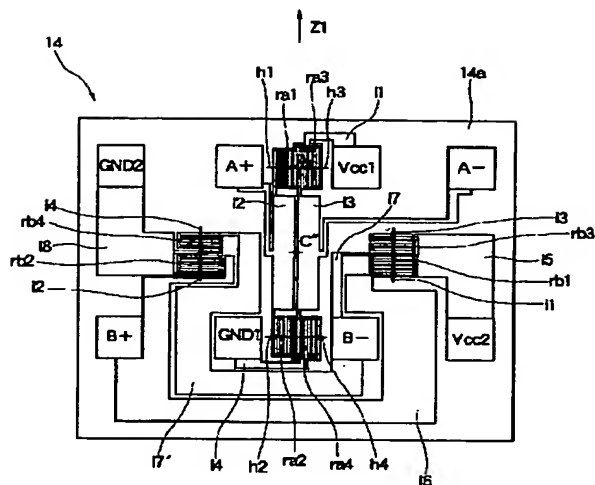
【図 10】



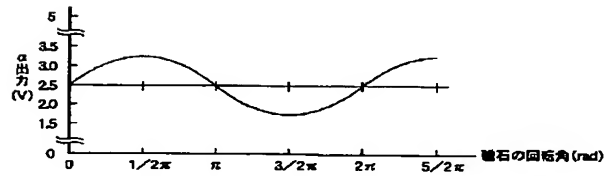
【図 13】



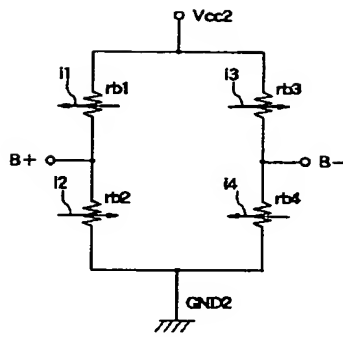
【图 1 2】



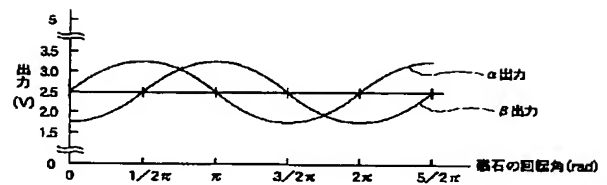
【図 15】



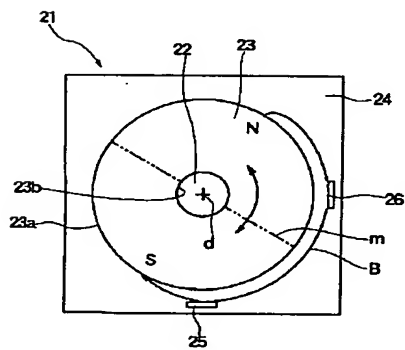
【图 14】



【図 16】



【图 17】



【図 18】

